

報 告

無反射ダクトの音響解析

広瀬 吉一^{*1}, 古森 敬博^{*2}, 石原 秀俊^{*3}, 木野 等^{*4}

Acoustic Analysis of unreflective duct

Yoshikazu Hirose^{*1}, Takahiro Komori^{*2}, Hidetoshi Ishihara^{*3}, Hitoshi Kino^{*4}

要 旨

エンジン吸気系システムの低騒音化の手段として共鳴を利用したレゾネータと呼ばれる消音器が配設されている。レゾネータはエアダクト内で発生する気柱共鳴を抑制するために2～3個取り付けられることがあり、省スペース・コストダウン及び軽量化の要求から削減が求められている。

これら要求に対し、新たな吸気騒音低減アイテムとしてエアダクトを多孔質材にて形成し、エアダクト内に発生する気柱共鳴を抑制させて低騒音化をはかる無反射ダクトがある。しかし、無反射ダクトは通気抵抗と音とのバランスを取ることが課題であることが報告されており、通気抵抗を少なくするためには多孔質部の面積を最小にすることが望ましい。

そこで本報告では多孔質材の面積、配設位置などと音響特性の関係を明らかにさせ、多孔質部を小面積化しても低騒音化が実現できることを確認したので報告する。

Abstract

Resonator is a kind of silencers that absorbs noise of engine air intake system. Two or three resonators are used to reduce the resonance noise in the air duct. The number of resonators should be decreased because of saving space, cost and weight.

Unreflective duct is one of the new items to reduce air intake noise, which applies porous materials to the air duct to reduce the resonance noise in the air duct. But it is reported that unreflective duct has a problem of balancing sound with airflow resistance, and it is necessary to minimize the area of porous part to reduce airflow resistance.

This report describes the relation between the size, position etc. of the porous part and sound characteristics, and states that we can obtain sufficiently low noise level even if the area of porous part is small.

1. はじめに

エンジン吸気系システムの低騒音化の手段として共鳴を利用した消音器を配設する方法がある。また、その他にエアダクトを多孔質材にて形成し、エアダクト内に発生する気柱共鳴を抑制させて低騒音化をはかる無反射ダクトを使用する方法もある。

無反射ダクトにおいては通気抵抗と音とのバランスを取ることが課題であることが報告されており、通気抵抗を少なくするためには多孔質部の面積を最小にすることが望ましい。

そこで本報告では多孔質材の面積、配設位置などと音響特性の関係を明らかにさせ、低騒音化が実現できることを確認したので報告する。

2. 無反射ダクトの音響特性

エアダクトの一部を多孔質材にて構成することによるエアダクトの音響特性の変化を実験にて解析した。

2-1 エアダクトの音響特性

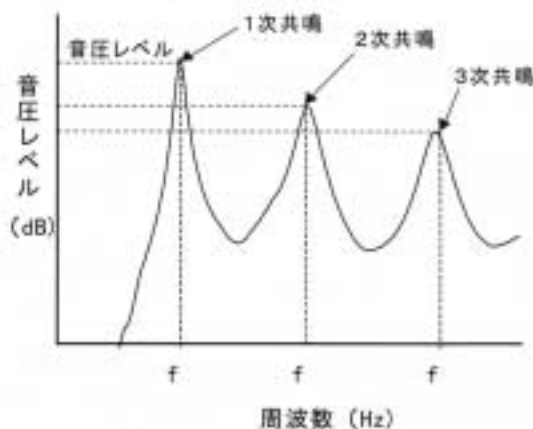


図-1 周波数特性

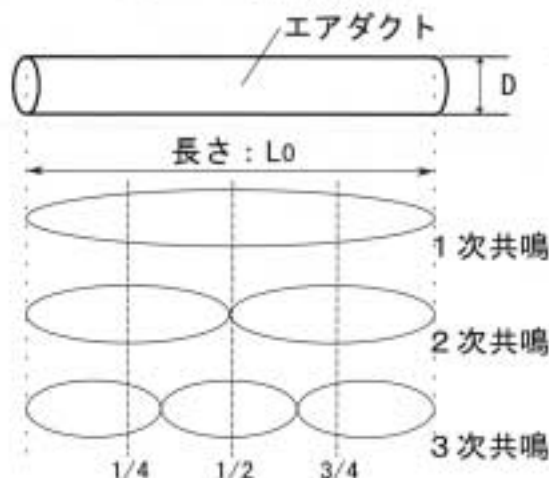


図-2 ダクト内音圧モード

エアダクトにより発生する気柱共鳴周波数はエアダクト長： L_0 、内径： D とした場合、図-1に示すような周波数特性を示し、その共鳴周波数： f は次式にて表される。

$$f = nc / (2(L_0 + 0.8D)) \quad (1)$$

(n は共鳴次数、 c は音速)

また、両端開放状態のエアダクト管内の音圧分布は図-2に示される音圧モードとなる。

2-2 実験方法およびエアダクト諸元

エアダクトの音響特性を測定する実験方法を図-3に、エアダクト諸元及び名称を図-4に示す。実験は他からの音が入らないように無響室内にて実施し、エアダクトの片側からスピーカにて音響加振を行いエアダクトから放射される音を測定する。また、スピーカからの音がダクト開口部、多孔質部へ周りこまないように遮音板にて遮音した。音の測定点はダクト開口部10ミリ位置、これをダクト開口部近傍音、そして、多孔質部壁面から10ミリ位置、これを多孔質部透過音と呼ぶ。このとき、エアダクトは両端開放状態とする。

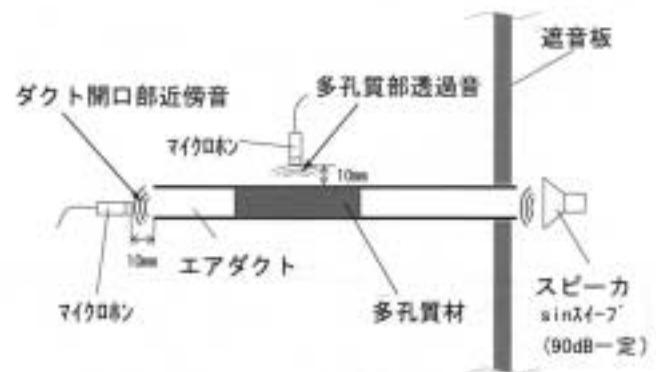


図-3 実験方法

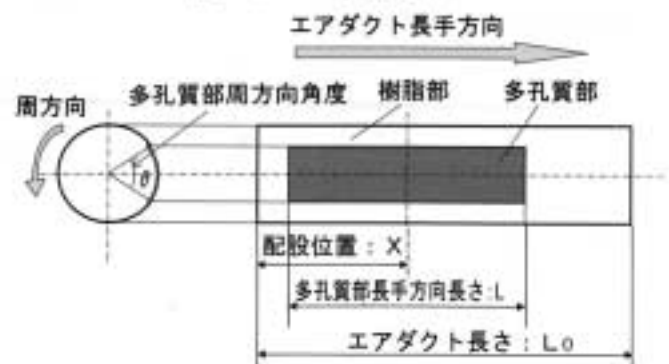


図-4 エアダクト諸元

2-3 通気量と音響特性

無反射ダクトの音響特性はエアダクト管壁の通気量に影響を受ける。まず、エアダクト全体を多孔質材にて構成し、通気量とエアダクトの音響特性との関係を確認した。その結果を図-5に示す。

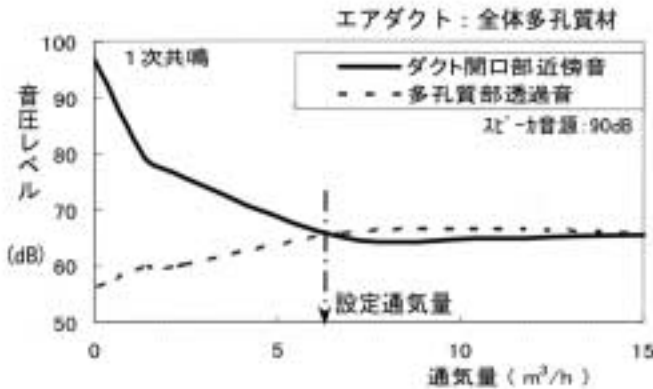


図-5 通気特性と音響特性との関係

通気量の増加に従い、ダクト開口部近傍音は減少し、多孔質部透過音は増加する傾向を示し、通気量により音響特性は大きく変化することがわかる。

2-4 多孔質部位置と音響特性

エアダクト管壁の一部を多孔質材にて構成する場合、多孔質部の配設位置と音響特性との関係を明らかにさせる必要がある。そこで、多孔質部の通気量一定、面積一定条件にて、多孔質部の配設位置を図-6に示すケース1、2、3とし、その音響特性の変化を調べた。

ケース1 ($L=L_0, \theta=360^\circ, S/S_0=1$)



ケース2 ($L=L_0, \theta=60^\circ, S/S_0=1/6$)



ケース3 ($L=L_0/6, \theta=360^\circ, S/S_0=1/6$)



図-6 多孔質部配設図

ここで、多孔質部面積: S 、エアダクトの表面積: S_0 としたとき、面積比は、 $S/S_0=1/6$ とした。その結果を図-7に示す。

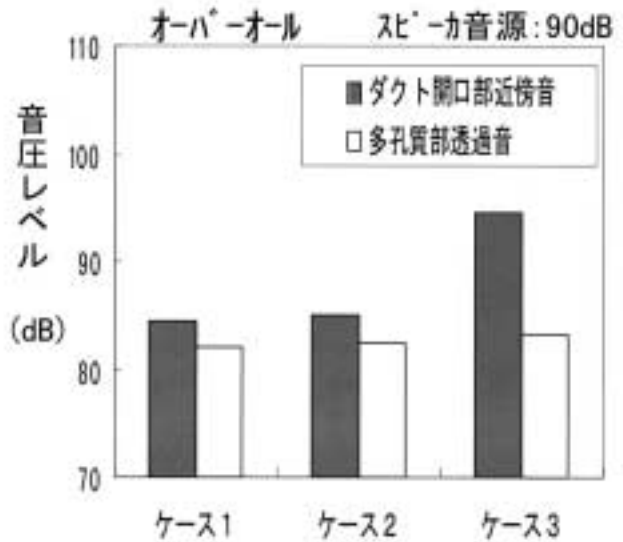


図-7 多孔質部形状と音響特性

- 1) ケース3のようにエアダクトの全周に多孔質部を配設するよりケース2のようにエアダクト長手方向に配設する方が音圧レベルは下がる。
- 2) 全体の1/6の面積であってもケース2のように配設すれば、オール多孔質ダクトとほぼ同等の音響特性である。

次になぜ、図-7の結果となったのか確認するため、それぞれの1、2、3次共鳴の音圧レベルを確認した。その結果を図-8、多孔質部の配設位置とダクト内音圧モードの関係を図-9に示す。

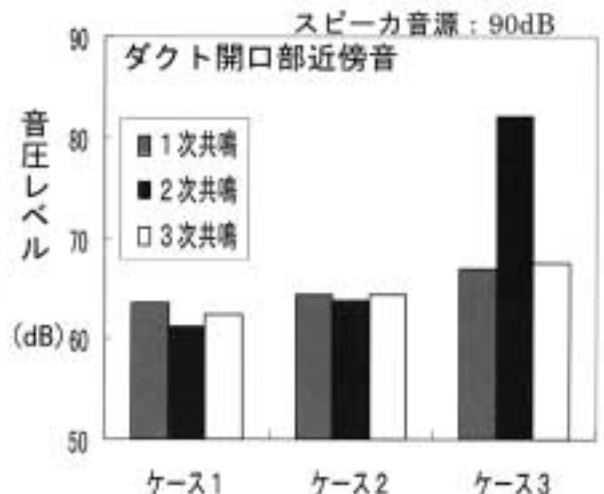


図-8 多孔質部形状とダクト開口部近傍音

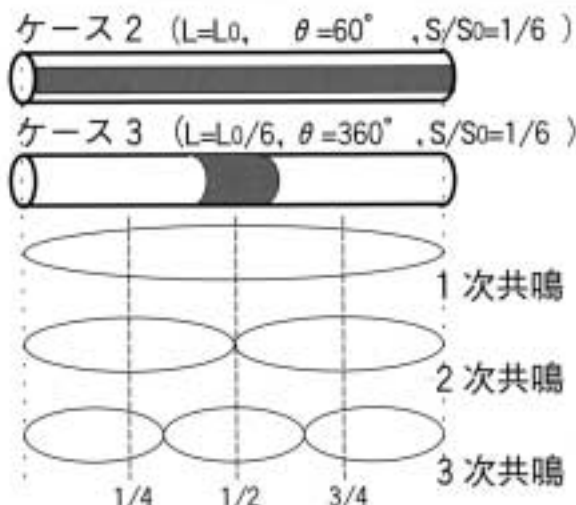


図-9 多孔質部形状と音圧モード

ケース 2 は 1, 2, 3 次共鳴ともケース 1 とほぼ同等の音圧レベルである。その理由として多孔質部は 1, 2, 3 次共鳴の腹の位置にあり、また通気量一定条件のためダクト内の気柱共鳴がケース 1 と同等だけ抑制されたと考えられる。

ケース 3 では 2 次共鳴が突出して大きくなっているのがわかる。ケース 3 の配設位置が 1, 3 次共鳴では腹の位置にあるのに対し、2 次共鳴では節の位置であるため、2 次共鳴が十分に抑制されず、音圧レベルが 1, 3 次共鳴に比べて大きくなったと考えられる。

このことから、ダクト開口部近傍音はエアダクト長手方向の管内共鳴音圧モードの影響を受けていると考えられる。

2-5 エアダクト長手方向の多孔質部配設位置と音響特性

エアダクト管内共鳴音圧モードの影響を確認するため、ケース 3 の多孔質部の形状にて構成を変えず、エアダクト長手方向の多孔質部配設位置と音響特性の関係を明らかにさせた。図-10 に示すようにエアダクト長手方向の多孔質部長さは $L_0/6$ に行った。その結果を図-11 に示す。

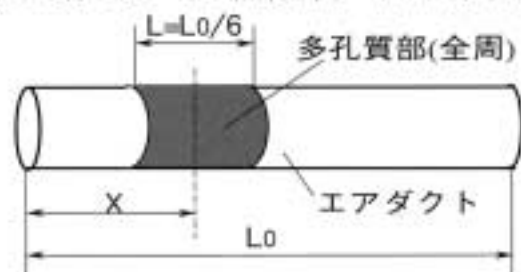


図-10 多孔質部配設位置(長手方向)

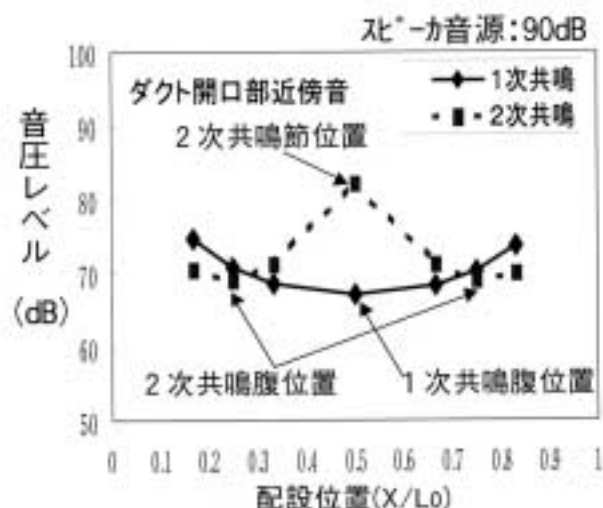


図-11 多孔質部配設位置と音圧レベル

無反射ダクトの音響特性はエアダクト長手方向の多孔質部配設位置により影響を受け、エアダクト管内共鳴音圧モードの腹位置に多孔質部を配設すると節位置への多孔質部配設に比べ音圧レベルは小さくなる。

このことから、配設位置により音圧レベルが変化するのはエアダクト管内共鳴音圧モードによる影響であることがわかる。

2-6 エアダクト周方向の多孔質部面積比と音響特性

ケース 2 のように配設した場合、面積比 $1/6$ にてオール多孔質ダクトと同等の音響特性となることがわかった。そのためエアダクト全長に多孔質部を配設した場合、多孔質部面積と音響特性との関係を明らかにする必要がある。そこで通気量一定にて図-12 に示す θ を変えることによりダクト開口部近傍音の音圧レベルを測定した。その結果を図-13 に示す。

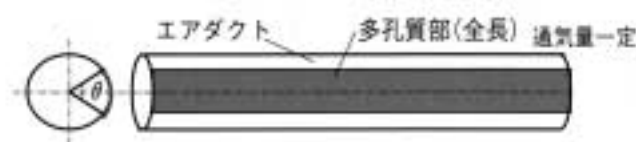
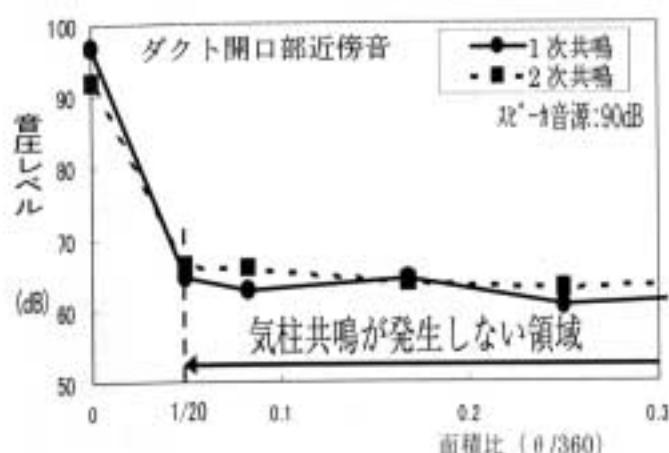


図-12 多孔質部配設位置(周方向)

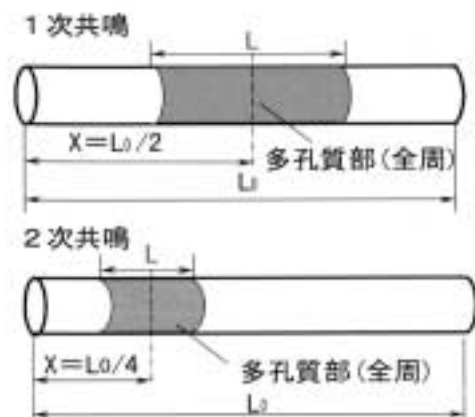


図—1 3 多孔質部面積比と音圧レベル(周方向)

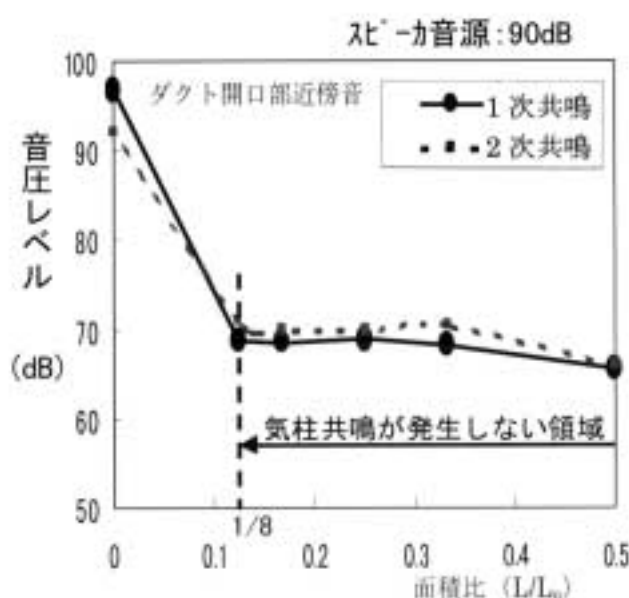
通気量一定で面積比 1/20以上であれば、ダクト内気柱共鳴が抑制され、音圧レベルがほぼ同じであることがわかる。このことから、エアダクト全周を多孔質材にしなくとも全周の 1/20 に多孔質材を配設すれば全周多孔質材のエアダクトと同等の音響特性となることを示している。

2-7 エアダクト長手方向の多孔質部面積比と音響特性

ダクト全長に多孔質部を配設することが良いが、実際にはエアダクトの組み付けや製造の制約により全長に多孔質部を配設することは難しい。そのためケース3のように多孔質部を配設したエアダクトにて、エアダクト長手方向における多孔質部の面積と音響特性の関係を明らかにする必要がある。そこで、図—1 4 に示す 1, 2 次共鳴とも多孔質部をダクト管内音圧モードの腹位置に全周で配設したダクトにて、L を変えてダクト開口部近傍音の音圧レベルを測定した。その結果を図—1 5 に示す。



図—1 4 多孔質部配設位置と面積



図—1 5 多孔質部面積比と音圧レベル(長手方向)

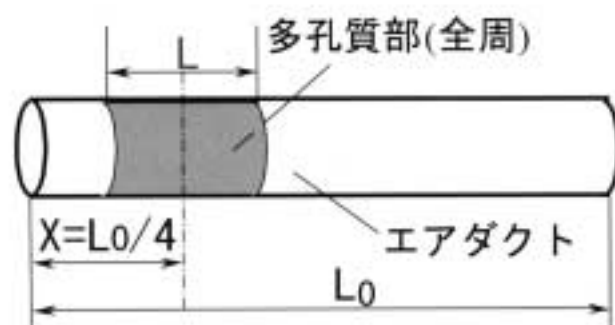
ダクト内音圧モードの腹の位置に多孔質部を配設すると、面積比 1/8 でもオール多孔質ダクトと同等の音響特性となることがわかる。

2-8 多孔質部を配設した無反射ダクトの効果

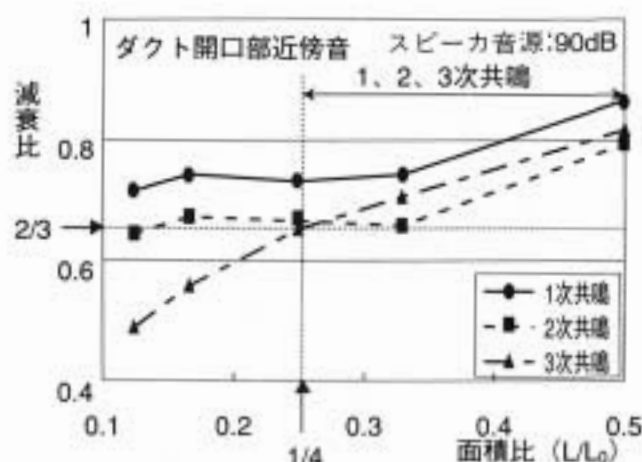
以上述べてきた結果を応用して最適な面積を決定するため、1, 2, 3 次共鳴のダクト管内音圧モードの節以外で腹に近い位置 $L_0/4$ に多孔質部を配設(図—1 6)し、音響特性を確認した。面積比と減衰比の関係を図—1 7 に示します。ここで、減衰比: r は(2)式で表わされ、p1 は樹脂ダクト、p2 はオール多孔質ダクト、p3 はエアダクト両端から $L_0/4$ に多孔質部を配設したダクトの音圧レベルである。

$$r = (p1 - p3) / (p1 - p2) \quad (2)$$

すなわち、オール多孔質ダクトは減衰比 1、オール樹脂ダクトは減衰比 0 となる。



図—1 6 多孔質部面積 ($L_0/4$ 位置)



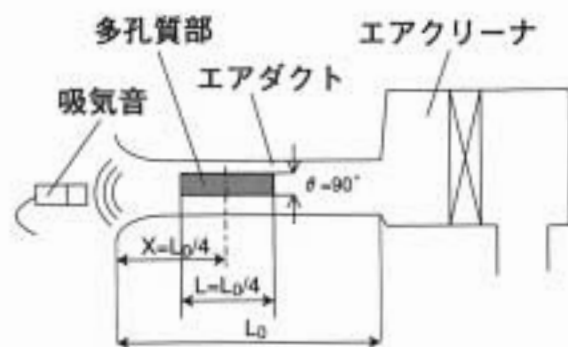
図—17 無反射ダクトの効果

図17に示すように例え面積比を1/4にしたとしても、1, 2, 3次共鳴とも減衰比が2/3以上得られることがわかる。このことから、配設位置を最適化することにより、多孔質部を小面積化でき、高次成分まで吸気騒音が低減できることがわかる。

3. エンジン台上試験での評価結果

3-1 無反射ダクトの吸気騒音

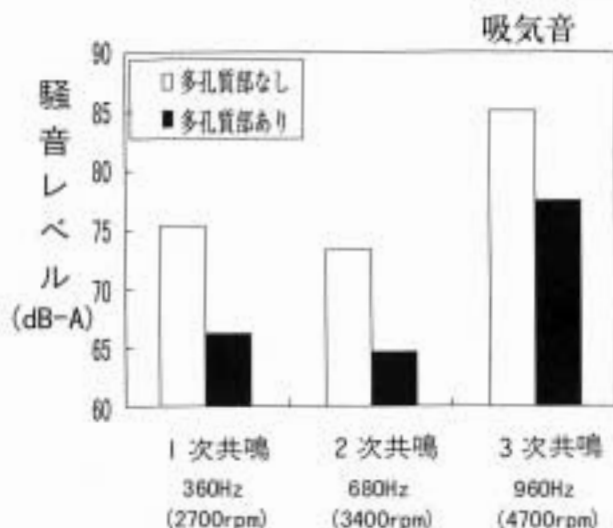
ここでは、管壁の一部を多孔質材にて形成した無反射ダクトをエンジンのエアダクトに適用した事例について述べる。このときのエアダクト諸元を図—18に示す。



図—18 エアダクト諸元

エアダクトの多孔質部はエアダクト全長の1/4、全周の1/4、配設位置は吸気口から1/4であり、エンジンの吸気音の測定はエンジン台上試験にて実施し、このときの条件はスロットル全開状態である。この試験結果を図—19に示す。

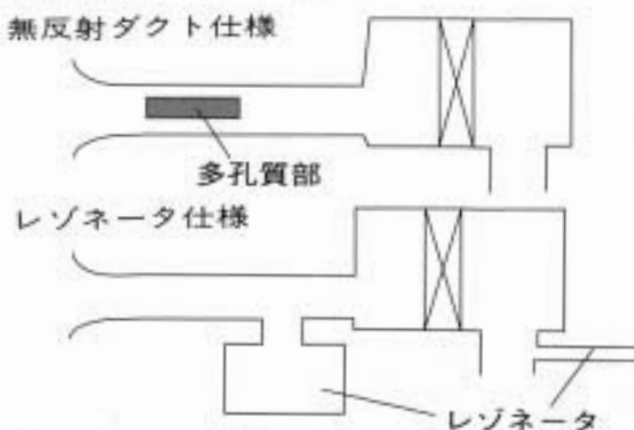
エアダクト管壁の一部に多孔質部を配設することにより7db以上吸気音が低減できた。また、このとき多孔質部の有無による吸入負圧の差はなかった。



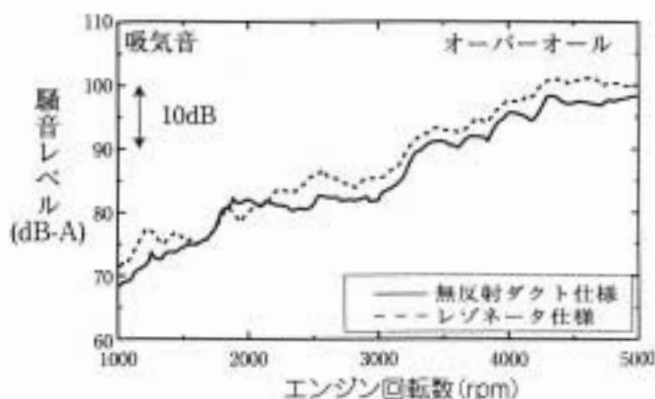
図—19 無反射ダクトの吸気騒音

3-2 従来仕様のエアダクトとの性能比較

従来の消音器を用いた吸気系システムとエアダクト管壁の一部に多孔質部を配設した無反射ダクトを用いた吸気系システムにおいて吸気騒音の比較を行った。吸気系諸元を図—20に、試験結果を図—21に示す。



図—20 無反射ダクト仕様とレゾネータ仕様



図—21 無反射ダクトの効果 (エンジン試験)

エアダクト管壁の一部に多孔質部を配設した無反射ダクトの吸気音は従来の消音器仕様と比べ、同等以下の騒音レベルを得た。

本技術は2000年春から生産を開始した車両にて採用されている。

4. まとめ

エアダクトの管壁の一部に多孔質部を配設した無反射ダクトにおいて、その多孔質部の諸元と音響特性との関係を実験的に明らかにした検討結果から以下の知見を得た。

- 1) より音響特性は影響を受ける。この原因はエアダクト長手方向の多孔質部配設位置にダクト管内共鳴音圧モードである。
- 2) 全周の1/20が多孔質材であれば全周多孔質部のエアダクトと同等の音響特性となる。
- 3) 面積、配設位置を最適化することにより、高次成分まで吸気騒音を低減でき、多孔質部面積を小さくできる。
- 4) 無反射ダクトの多孔質部の面積、配設位置を最適化すると、通気抵抗同等で吸気音が低減できる。
- 5) 無反射ダクトの適用にて7db以上の騒音低減ができ、従来のレゾネータ仕様に対し同等以上低減できる。

5. 謝辞

なお、本報告はトヨタ自動車(株)第2機能設計室、第21パワートレーン設計室殿と共同にて開発を行った内容の一部であり、関係者の皆様の御助言、御助力に深く感謝致しますと共に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 北原ほか, 無反射ダクトによる低騒音吸気系の開発(第1報), 自動車技術会春季学術講演会前刷集NO.10-00(2000)
- 2) 広瀬ほか, 無反射ダクトによる低騒音吸気系の開発(第2報), 自動車技術会春季学術講演会前刷集NO.10-00(2000)
- 3) 白木, 騒音防音設計とシミュレーション, 応用技術出版(1991)